

RENEW-URBAN: COME ALBERI AL VENTO SOLARE

Nicola Cardinale¹, Francesco Ruggiero², Tiziana Cardinale³, Silvia Di Turi⁴

¹DiCEM (Dipartimento delle Culture Europee e del Mediterraneo), Università degli Studi della Basilicata, Cell. 3204371264, e-mail: nicola.cardinale@unibas.it, ²DICAR (Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura), Politecnico di Bari, Tel. 0805963870, e-mail: ruggiero@poliba.it, ³Phd Student, DiCEM (Dipartimento delle Culture Europee e del Mediterraneo, Università degli Studi della Basilicata), Cell. 3471182729, e-mail: tizcardina@hotmail.it, ⁴Phd Student, DICAR (Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura), Politecnico di Bari, Cell. 3490736698, e-mail: silvia.dituri@alice.it

SOMMARIO

Il tema della riqualificazione del patrimonio edilizio residenziale esistente permette di affrontare alcune delle molteplici declinazioni del concetto di sostenibilità ambientale (riduzione delle risorse non rinnovabili e delle emissioni di CO₂ in atmosfera) nei Paesi industrializzati, dove lo sviluppo di un'economia orientata al profitto ha trasformato il costruito in un problema energetico planetario, rendendo impossibile una equilibrata convivenza fra uomo e natura. La volgarizzazione di modelli edilizi indifferenti ai luoghi ha causato il degrado del paesaggio urbano e il peggioramento delle condizioni di vita.

L'evidente obsolescenza delle abitazioni realizzate dal dopoguerra in poi, responsabile di elevati consumi di energia, ha portato a progettare il recupero di un edificio a torre situato nel quartiere periferico San Paolo (Bari). L'innovativa proposta lo trasforma da elemento passivo ad elemento attivo per la produzione di energia elettrica e termica attraverso un up-grade architettonico determinante per il miglioramento di prestazioni estetiche, funzionali e spaziali. L'intervento di retrofit prevede l'installazione di un Kit Albero-Solare che, avvolgendo i fabbricati esistenti come una vera e propria "pelle solare", introduce superfici ad hoc pensate per massimizzare la captazione di radiazione solare ed i benefici ambientali delle soluzioni proposte (muro verde, raccolta acqua meteoriche, sistemi di ombreggiamento etc.). Costituito da una serie integrata di sistemi solari attivi, sistemi passivi come serre solari o camminamenti esterni e sistemi di ventilazione, è indipendente dall'esposizione e dotato di flessibilità e replicabilità che lo rendono competitivo in termini di costi rispetto alle soluzioni più tradizionali. Gli elementi che lo compongono sono standardizzati, facili da assemblare grazie alla loro piccola dimensione e collaboranti ai fini del miglioramento delle caratteristiche strutturali dei manufatti.

Grazie all'integrazione di tecnologie e materiali eco-compatibili e strumenti di calcolo all'avanguardia, la ricerca, finalizzata all'incremento dell'efficienza energetica dei contesti insediativi di margine, consente il pieno rispetto della normativa nazionale e regionale.

1 INTRODUZIONE

Nel mondo attuale è in atto già da tempo un cambiamento epocale nel settore dell'energia dovuto alle esigenze di contenimento dei consumi nel settore civile, alla riduzione delle emissioni di CO₂ in atmosfera e alla necessità di assicurare livelli ottimali di sostenibilità. La stessa Direttiva Europea 2012/27/UE [1] sull'Efficienza Energetica punta ad aumentare il tasso di ristrutturazione degli immobili.

All'interno di tutti i macrosettori che costituiscono una città e le sue dinamiche, gli edifici da soli sono responsabili del consumo del 30-40% di risorse naturali utilizzate nei Paesi industrializzati.

L'evoluzione della progettazione e delle tecnologie da adottare negli interventi di recupero edilizio costituisce una delle sfide più interessanti e difficili, dal momento che, essendo gli edifici abitati, gli interventi interni devono essere limitati e quelli esterni si riducono alla realizzazione del capotto e alla sovrapposizione, quando possibile, di impianti di produzione di energia da fonte rinnovabile.

Eppure i risparmi energetici ed economici che si otterrebbero da tali interventi sono decisamente interessanti, infatti le stime più attuali parlano per il nostro paese di un risparmio di 60 000 GWh all'anno solo per il settore residenziale (escluso il terziario), quantificabili con una riduzione di quasi sei miliardi di euro all'anno sul costo

dell'energia.

È per questo che gli aspetti tecnici e tecnologici della riqualificazione alle diverse scale del processo edilizio ed urbano e i temi dell'autosufficienza energetica hanno ormai assunto un rilevante interesse scientifico. In tutte le operazioni di recupero e riconversione di aree urbanizzate in ambiti fortemente degradati acquista oggi un ruolo fondamentale la qualità dello spazio architettonico costruito.

2 LA RIQUALIFICAZIONE DELLE PERIFERIE URBANE: UNA PROGETTAZIONE INTEGRATA

Una delle qualità che non può mancare in un progetto contemporaneo di riqualificazione è la sostenibilità e l'attenzione alle tematiche del risparmio energetico. Con l'aumento esponenziale del prezzo del petrolio, il costo della bolletta energetica è diventata una voce di spesa importante nel bilancio delle famiglie e, nel caso dei ceti più deboli, può superare il 15% del loro salario. Per tale motivo, ogni intervento deve essere rivolto alla razionalizzazione dei consumi energetici in modo da conservare e migliorare le condizioni di benessere all'interno delle abitazioni: obiettivi primari devono essere, non solo, la riduzione dei consumi e delle emissioni, ma anche il miglioramento delle condizioni economiche degli occupanti.

Secondo le prescrizioni dei decreti in materia di risparmio energetico, a partire dal D. Lgs. 311/06 [2], le proposte progettuali devono aspirare all'integrazione di tecnologie per fonti di energie rinnovabili e alla loro replicabilità, soprattutto nelle ristrutturazioni del patrimonio edilizio esistente, con costi compatibili con i budget dell'edilizia pubblica e un'alta qualità progettuale.

La politica energetica dell'Unione europea è chiara per il futuro: generazione distribuita, edifici a zero energia o ad energia positiva e reti energetiche "smart" che possano far dialogare sistemi ad isola.

Un grande passo in avanti in questa direzione è sicuramente rappresentato dall'intervento su un patrimonio edilizio esistente che, soprattutto nell'edilizia sovvenzionata realizzata dal dopoguerra in poi, è caratterizzato da pessima qualità costruttiva e architettonica.

I materiali utilizzati sono spesso a basso costo, poco efficienti dal punto di vista energetico e, a volte, poco salubri, con consumi specifici di oltre 150 kWh/m². Ne risultano edifici con impianti per il riscaldamento invernale energivori e ambienti invivibili d'estate, raffrescati con sistemi ad espansione diretta del tipo split system. Inoltre la scarsa conoscenza di principi e tecniche bioclimatiche per migliorare le prestazioni energetiche dell'involucro ha causato gravi inefficienze nell'edilizia residenziale.

Obiettivi delle proposte di riqualificazione devono essere quindi l'autosufficienza in campo energetico, con riduzione dei livelli di consumo e dei costi ambientali; il risparmio e il rispetto delle risorse naturali tramite l'adozione di tecnologie che minimizzino gli sprechi e ne permettano un maggiore riutilizzo per un elevato risparmio energetico e la riduzione delle emissioni nocive; la creazione di edifici ispirata ai principi del massimo comfort in termini di fruibilità, caratteristiche termiche, illuminazione; la qualità dell'architettura.

2.1 Un'innovazione progettuale: il "Kit Albero Solare" replicabile e standardizzabile

L'obiettivo del lavoro è quello di analizzare un'innovativa proposta progettuale, che mette a punto un up-grade architettonico degli edifici esistenti trasformandoli in produttori di energia e migliorandone la qualità estetica.

Uno dei problemi maggiori che si riscontra nell'inserimento di sistemi di captazione negli edifici è la mancanza delle superfici necessarie per raccogliere la radiazione solare.



Figura 1. Esempio di riqualificazione di un edificio a torre.

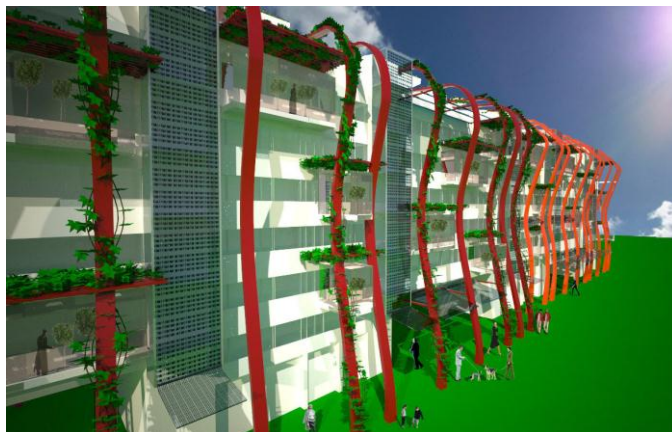


Figura 2. Esempio di riqualificazione di un edificio in linea

L'intervento innovativo di retrofit sugli edifici esistenti prevede quindi l'installazione di un Kit (Fig. 1, 2) costituito da una serie integrata di elementi, che prevede una struttura esterna in grado di portare sistemi solari attivi, per la produzione di energia elettrica o termica, sistemi passivi, come serre solari o semplici camminamenti esterni protetti dalla radiazione solare, sistemi di ombreggiamento, verde, sistemi di ventilazione, raccolta delle acque meteoriche, etc.

Attraverso «l'equipaggiamento» di una struttura esterna, modulare e replicabile, vengono garantite la riqualificazione bio-edilizia, l'integrazione dei dispositivi solari all'interno della struttura e la realizzazione di buffer spaces abitabili come serre, logge e portici. Nello spazio intercapedine tra l'edificio e la seconda pelle, viene così a crearsi un diverso microclima, che contribuisce alla riduzione delle elevate temperature estive e alla mitigazione delle temperature invernali, migliorando il comfort abitativo e la qualità dell'aria.

In tal modo si coniugano sia valenze architettoniche che tecnologie di eco-compatibilità. Si viene a creare, così, una vera e propria "pelle solare", che avvolge gli edifici esistenti, dotandoli di caratteristiche inedite e superando i limiti tipologici di molte costruzioni di edilizia residenziale pubblica.

Un importante aspetto sta nel fatto che il Kit risulta essere un sistema estremamente flessibile che si adegua all'esposizione dell'edificio e si adatta alle condizioni climatiche locali (es. venti predominanti invernali e brezze estive), all'orientamento e alla morfologia dell'area, alla presenza della vegetazione e alla dinamica delle ombre nelle diverse stagioni. Tali fattori, infatti, possono influenzare in modo significativo il regime termico degli edifici, aumentando le dispersioni dell'involucro nei mesi invernali e contribuendo al raffrescamento e alla ventilazione nei mesi estivi.

Ponendo, per esempio, a Sud, le serre dei giardini d'inverno, i sistemi di ombreggiamento verde, i brise soleil e la pensilina fotovoltaica e, a Nord, gli spazi-tampone e il muro verde, le facciate si adattano naturalmente alla morfologia e al clima del sito, disponendole nella direzione dei venti e segnandole con strutture colorate. Nel caso di una superficie favorevolmente esposta a Sud, sarà possibile avere superfici captanti per la produzione di energia elettrica e termica, schermature orizzontali per un ulteriore ombreggiamento dell'edificio, serre solari per il riscaldamento invernale; nel caso di esposizioni penalizzanti, si potranno utilizzare verde e

schermature verticali (Est-Ovest) o realizzare spazi tampone tra struttura e parete esterna (Nord), oltre a raccogliere acqua piovana per il riutilizzo negli scarichi e nell'irrigazione (tetti in ombra). Infine, nel caso di esposizione a venti dominanti, si potranno supportare mini generatori eolici ad asse verticale per la produzione di energia elettrica.

L'elemento fondamentale di tale intervento è la replicabilità sia dal punto di vista progettuale che architettonico e tecnologico.

Integrato con adeguati interventi impiantistici e riguardanti l'involucro edilizio esistente, sfrutta infatti le caratteristiche fisiche del luogo inglobando in sé l'utilizzo di fonti di energia rinnovabili e sistemi passivi, oltre a meccanismi di recupero delle acque.

Il Kit, essendo un elemento aggiunto all'edificio, modulare e standard, si adatta alle diverse tipologie edilizie, rendendo il sistema replicabile per ogni tipo di fabbricato, per ogni località e, soprattutto, per ogni esposizione.

Gli elementi in cui esso è scomposto sono standardizzati, anche se di varie forme (sezione cava circolare o scatolare, profilato aperto lavorato opportunamente, ecc.) e facili da assemblare e connettere grazie alla loro piccola dimensione.

Anche la struttura assolve alle caratteristiche di replicabilità e fattibilità e risulta facilmente realizzabile in quanto ideata pensando alla semplicità di posa in opera.

Gli elementi strutturali che reggono i dispositivi solari sono previsti in COR-TEN, un acciaio da costruzione resistente alla corrosione atmosferica (CORrosion resistance) e con elevata resistenza meccanica (TENSile strength), che permette di ridurre tensioni e peso della struttura stessa. Il COR-TEN è inoltre un materiale di alto valore estetico grazie alla particolare finitura e alla colorazione naturale. L'uso dell'acciaio consente, inoltre, l'utilizzo di elementi di piccola taglia che si compongono e si sviluppano fino ad originare la forma finale. La ridotta dimensione dei singoli elementi non richiede particolari mezzi d'opera e il loro assemblaggio avviene mediante connessioni bullonate. Gli elementi verticali sono opportunamente controventati per assolvere al compito di stabilizzazione globale del manufatto.

Il Kit così installato genera una "trama" che rimodella gli edifici sia architettonicamente sia sotto l'aspetto del comportamento termico e della qualità del clima; esso li rende autosufficienti dal punto di vista energetico e a impatto zero, riducendone il consumo di energia da fonte fossile, in quanto utilizzatori di fonti rinnovabili, se non addirittura dei veri e propri produttori di energia.

Un ultimo aspetto che rende questo sistema di up-grade architettonico decisamente interessante consiste nel fatto che l'intervento avviene completamente dall'esterno con minime interferenze con gli ambienti interni. Questo evita i problemi burocratici e logistici di dover trasferire gli inquilini durante l'esecuzione dei lavori.

3 IL CASO DI STUDIO: UN EDIFICIO A TORRE AL QUARTIERE SAN PAOLO DI BARI

La necessità di capire come e in quale misura il "Kit albero solare" possa influire sulle prestazioni energetiche degli edifici, ha determinato la scelta di valutare un caso studio reale scelto nel quartiere San Paolo alla periferia di Bari, che rientra in una delle tipologie più diffuse dell'edilizia residenziale pubblica nel territorio locale, ossia la tipologia a torre.



Figura 3. Vista della tipologia a torre analizzata.

Il San Paolo è uno dei quartieri sorti nell'ottica di creare delle "isole" autosufficienti, dotate di servizi ma spesso avulse da qualsiasi contesto urbano.

Con l'emanazione della legge 167/1962, recante disposizioni per favorire l'acquisizione di aree fabbricabili per l'edilizia economica e popolare, vennero, infatti, redatti i Piani di Zona di Prima Generazione che prevedevano interventi di grossa dimensione.

La costruzione del quartier San Paolo, il più lontano dalla città, è stata quasi completamente affidata allo IACP per il comparto a Est, caratterizzato da edifici a torre, e a cooperative sovvenzionate per il comparto a Ovest, caratterizzato dagli edifici ad andamento curvilineo. [3]

L'edificio analizzato risale, all'incirca, alla seconda metà degli anni Settanta; è costituito dal piano terra, parzialmente a pilotis, più dieci piani con destinazione residenziale, ciascuno composto di tre appartamenti, disposti attorno ad un vano scala centrale cieco. (Fig. 3)

Data l'impossibilità di effettuare alcuna indagine diagnostica distruttiva per conoscere l'esatta composizione dei pacchetti dell'involucro edilizio, tali dati sono stati ricavati attraverso lo studio e la ricerca presso gli Archivi dello IACP e l'Archivio di Stato della città di Bari.

L'entrata in vigore della legge n. 373 del 1976 sulle Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici, che prevedeva l'utilizzo di materiali coibenti al fine di contenere i consumi energetici, portò a delle innovazioni di cui l'edilizia residenziale pubblica diventa la prima attuatrice, nonostante la scarsa qualità di realizzazione del fabbricato rispetto agli standard attuali. Gli edifici realizzati a partire da questa data fino alla fine degli anni Ottanta, infatti, presentano generalmente una struttura intelaiata in cemento armato con tamponature in blocchi di laterizio forato e camera d'aria nella cosiddetta "muratura a doppia fodera". [4]

Nel caso di studio specifico, la doppia fodera è costituita nella parte esterna da mattoni faccia a vista e in quella interna da laterizi alveolati con sufficiente resistenza termica per il periodo di costruzione. A protezione del paramento esterno, agganciato con ferri ad U, di acciaio zincato, sulla faccia interna è presente un'intonacatura in malta cementizia. In questo periodo si inizia a diffondere l'isolamento termico a base di perline di polistirolo oltre che in copertura, anche nel solaio del primo piano, a contatto con il piano terra a pilotis, e l'attenuazione dei ponti termici attraverso la copertura di travi e pilastri con laterizi speciali.

Gli infissi sono in acciaio zincato a doppio vetro con spessori 4-6-4 mm.

Per quanto riguarda il sistema impiantistico, si sa per certo che la maggior parte delle abitazioni, a partire dagli anni

Sessanta, fu dotata di sistemi di riscaldamento centralizzati, ma nel corso degli ultimi trent'anni, ha prevalso sostanzialmente la logica individualistica della gestione autonoma dell'impianto, favorita dalla scarsa diffusione di sistemi flessibili di contabilizzazione del calore.

È stato rilevato, per testimonianza diretta, che la maggior parte delle caldaie sono state installate a partire dalla fine degli anni Ottanta e questo ha permesso di considerare valori di rendimento superiori all'80%. [5]

L'edificio in questione è dotato di impianti autonomi per ogni appartamento con produzione di acqua calda sanitaria integrata, tubazioni in rame e radiatori in ghisa. Le caldaie sono state considerate installate nelle logge esterne con un'ipotesi cautelativa.

Si è ipotizzata la presenza, per ogni appartamento, di una caldaia standard con rendimento dell'85%, con sistema di regolazione On-Off.

Nelle Tabelle 1, 2 e 3 sono riportate le specifiche tecniche del generatore, i rendimenti adottati per i vari sottosistemi e i dati del sistema di distribuzione di acqua calda sanitaria.

Tabella 1. Specifiche del generatore.

| Definizione | Valore |
|--|---|
| Numero di generatori | 8 |
| Tipo | Generatori di calore atmosferici tipo B classificati ** |
| Fluido termovettore | Acqua |
| Combustibile | Metano |
| Potenza nominale utile del sistema di produzione | 22.2 kW |
| Rendimento al 100% di Pn | 85 % |
| Rendimento al 30 % di Pn | 80 % |

Tabella 2. Valore dei rendimenti medi stagionali.

| Descrizione | Valore |
|-----------------------------|---------|
| Rendimento di regolazione | 93.00 % |
| Rendimento di distribuzione | 98.00 % |
| Rendimento di emissione | 94.50 % |

Tabella 3. Dati caratteristici del sistema di distribuzione di acqua calda sanitaria.

| Descrizione | Valore |
|--------------------------|-----------------|
| Rendimento di erogazione | 95 % |
| Sistema di distribuzione | Senza ricircolo |
| Coefficiente di perdita | 0.5 |
| Coefficiente di recupero | 0.15 |

3.1 L'analisi dell'esistente

Il primo passo per capire quali interventi di riqualificazione adottare e l'esito che essi hanno è quello di analizzare la condizione attuale dell'edificio esaminato.

L'edificio è stato studiato dal punto di vista termico ed energetico attraverso il software di simulazione energetica certificato Mc42012 [6], che ha permesso di valutare tutti i componenti dell'involucro, sia opachi che trasparenti, e le prestazioni energetiche dei singoli appartamenti e dell'edificio stesso nella sua globalità, secondo le procedure di calcolo delle norme UNI TS 11300 – Parti 1, 2, 3. [7,8,9]

La città di Bari rientra nella zona climatica Mediterranea (subzona Adriatica), definita C nella classificazione climatica di Köppen, ossia con un numero di gradi giorno pari a 1185. La città è caratterizzata tipicamente da estati calde ed inverni miti ed umidi, con venti freddi, soprattutto in inverno, che determinano abbassamenti della temperatura rispetto alle medie stagionali. L'evoluzione annuale della temperatura è rappresentata nella Fig. 4.

Localizzato l'edificio e definite le condizioni climatiche esterne [10], sono state valutate le caratteristiche dimensionali e tipologiche dell'alloggio, oltre all'orientamento e alle varie esposizioni.

Al fine di caratterizzare, dal punto di vista termico, i componenti opachi dell'involucro edilizio, occorre conoscere le proprietà termo-fisiche dei materiali, le resistenze termiche di murature e solai, i coefficienti superficiali di scambio termico e le resistenze termiche delle intercapedini d'aria eventualmente presenti. I risultati sono riassunti in Tab. 4.

Il calcolo del valore della potenza termica dispersa dai ponti termici per trasmissione attraverso l'involucro edilizio è stato effettuato in base a quanto previsto dalla UNI EN ISO 14683:2008. [11]

Il risultato finale del calcolo, in termini di dispersioni, è un valore elevato, pari a 71 218 W, che incide pesantemente sulle prestazioni dell'edificio.

A questo punto è possibile definire le quattro grandezze fondamentali per la determinazione della prestazione energetica.

Il fabbisogno di energia primaria richiesto dal sistema di riscaldamento dell'edificio [12], ossia l'energia assorbita dall'impianto di riscaldamento, in un determinato periodo di tempo, è dato dall'Eq. (1).

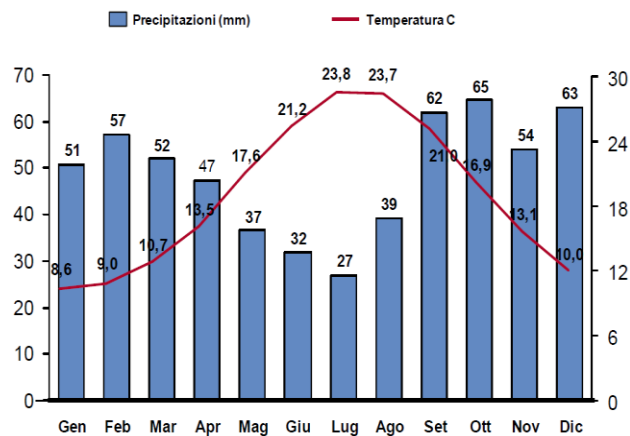


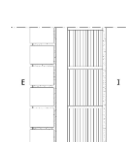
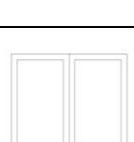


Figura 4. Medie climatiche di Bari - Palese. Pluviometria e temperatura.

Tabella 4. Valori di trasmittanza dei componenti principali dell'involucro dell'edificio.

| Classificazione componenti | Stratigrafia | Descrizione | U (W/m ² K) |
|--------------------------------|---|--|---|
| Chiusura orizzontale superiore |  | Tetto piano in latero-cemento, basso livello di isolamento | 0.885 |
| Chiusura orizzontale inferiore |  | Solaio latero-cementizio, basso livello di isolamento | 1.065 |
| Chiusura verticale opaca |  | Muratura a cassa-vuota con mattoni forati (30 cm), basso livello di isolamento | 0.893 |
| Chiusura verticale trasparente |  | Vetro-camera con intercapedine d'aria | U _w = 3.9 U _g = 3.27 |

$$Q_{p,H} = (Q_{H,nd} - Q_r) + Q_{l,t} \quad (1)$$

Da questa grandezza, secondo il D.P.R. 2 Aprile 2009, n. 59 [13], è possibile ottenere, i parametri di prestazione energetica del sistema edificio-impianto, rappresentati dall'indice di fabbisogno di energia primaria stagionale per il riscaldamento:

$$EP_i = \frac{Q_{p,H}}{S_u} \quad (2)$$

e il rendimento medio stagionale del sistema di riscaldamento.

$$\eta_{H,g} = \frac{Q_{H,nd}}{Q_{p,H}} \quad (3)$$

Infine, si è calcolato l'indice di prestazione energetica $EP_{e,inv}$ estivo così espresso:

$$EP_{e,inv} = \frac{Q_{C,nd}}{S_u} \quad (4)$$

Nella Tab. 5 sono riportati sinteticamente i risultati ottenuti per ciascun appartamento. La diversità delle esposizioni ovviamente determina differenze significative anche negli indici ottenuti.

Dalla Tab. 6 si evince chiaramente come l'edificio presenti gravi lacune sia dal punto di vista costruttivo che impiantistico; l'unico elemento che influisce positivamente

sulle prestazioni invernali è rappresentato dai seppur bassi livelli di isolamento presenti nei pacchetti dell'involucro.

Un altro problema è rappresentato dal comportamento dell'edificio, non solo in inverno, ma soprattutto in estate, dove il valore dell'indice di fabbisogno energetico per il raffrescamento supera di gran lunga il limite di legge, fissato in zona C e per edifici residenziali a 30 kWh/ m² anno.

Ciò determina, quindi, la necessità di operare degli interventi efficaci, ma, allo stesso tempo, fattibili sia dal punto di vista economico sia pratico.

Tabella 5. Prestazione energetica dell'edificio esistente per appartamenti.

| | Appartam. A (SudOvest) | Appartam. B (Sud Est) | Appartam. C (Nord) |
|--|------------------------|-----------------------|--------------------|
| Superficie Utile (m ²) | 82 | 82 | 82 |
| Primo piano | | | |
| EP _{i, globale} [kWh/ m ² anno] | 129.24 | 127.19 | 135.79 |
| EP _{i, invol} [kWh/ m ² anno] | 60.79 | 59.57 | 64.66 |
| EP _{e, invol} [kWh/ m ² anno] | 33.25 | 34.38 | 33.48 |
| η _{H,g} | 60.48 | 60.49 | 59.77 |
| Emissioni di CO ₂ [kgCO ₂ / m ² anno] | 25.82 | 25.41 | 27.13 |
| Dal secondo al nono piano | | | |
| EP _{i, globale} [kWh/ m ² anno] | 79.64 | 77.65 | 85.91 |
| EP _{i, invol} [kWh/ m ² anno] | 31.77 | 30.57 | 35.52 |
| EP _{e, invol} [kWh/ m ² anno] | 42.11 | 43.56 | 42.25 |
| η _{H,g} | 61.09 | 61.15 | 60.98 |
| Emissioni di CO ₂ [kgCO ₂ / m ² anno] | 15.91 | 15.51 | 17.17 |
| Ultimo piano | | | |
| EP _{i, globale} [kWh/ m ² anno] | 125.26 | 123.21 | 131.50 |
| EP _{i, invol} [kWh/ m ² anno] | 58.44 | 57.29 | 62.13 |
| EP _{e, invol} [kWh/ m ² anno] | 48.19 | 49.49 | 48.44 |
| η _{H,g} | 60.50 | 60.58 | 60.45 |
| Emissioni di CO ₂ [kgCO ₂ / m ² anno] | 25.03 | 24.62 | 26.27 |

Tabella 6. Prestazione energetica globale dell'edificio esistente.

| | Specifico | Totale |
|------------------------------|---|-------------------------------------|
| EP _{i, globale} | 90.95 [kWh/ m ² anno] | 222 856.07 [kWh/anno] |
| EP _{i, invol} | 38.19 [kWh/ m ² anno] | 93 943.22 [kWh/anno] |
| EP _{e, invol} | 42.35 [kWh/ m ² anno] | 104 182.90 [kWh/anno] |
| Emissioni di CO ₂ | 14.09 [kgCO ₂ / m ² anno] | 34 670.42 [kgCO ₂ /anno] |
| η _{H,g} | 60.87% | |

3.2 Gli interventi di riqualificazione

Al fine di portare l'edificio ad alte prestazioni energetiche, il primo intervento ipotizzato è stato l'isolamento delle pareti perimetrali esterne attraverso l'utilizzo di un materiale isolante innovativo: l'aerogel.

Si tratta di un materiale molto leggero a base di silice, derivante da un gel nel quale la componente liquida è sostituita dall'aria.

La percentuale di vuoto al suo interno varia tra il 97% ed il 99% ed i valori di conducibilità termica ottenibili sono molto bassi, pari a 0.013 – 0.014 W/m K, in quanto questo materiale sfrutta al meglio le proprietà isolanti dell'aria ferma contenuta all'interno delle sue cavità. [14] Ciò consente di ottenere ottimi risultati apponendo in facciata un sistema a cappotto composto dal pannello con l'isolante dello spessore di 14 mm e dalla rasatura armata di 6 mm, con uno spessore finale limitatissimo pari ad appena 20 mm.

Questa soluzione è ideale nel restauro e nel recupero edilizio, laddove gli ingombranti spessori di isolamento rendono spesso inattuabile la soluzione del "cappotto esterno". Inoltre, nel caso in questione, tutto ciò è stato possibile in quanto in facciata non sono presenti rivestimenti pregiati.

Il valore di trasmittanza della parete (0.39 W/m² K) si è abbassato tanto da rientrare nei valori limite di legge.

La finitura esterna, originariamente in colore rosso mattone, è stata sostituita da un intonaco bianco con un coefficiente di assorbimento della radiazione solare molto più basso, tipico nella tradizione mediterranea. [15, 16]

Dal punto di vista impiantistico, le caldaie tradizionali sono state sostituite da una pompa di calore aria/acqua, garantendo una potenza nominale di 4.5 kW ad appartamento.

Tabella 7. Riepilogo per l'impianto solare per la produzione di acqua calda sanitaria.

| Descrizione | Simbolo | Valore [kWh/anno] |
|--|------------------------------|-------------------|
| Consumo annuo di energia elettrica, in assenza di impianto solare | $(Q_{e,w,s}^I)_{fc}$ | 2 686.32 |
| Consumo annuo di energia elettrica, in presenza di impianto solare | $(Q_{e,w,s}^I)_{fc + is}$ | 292.12 |
| Risparmio annuo di energia elettrica assoluto | $(\Delta Q_{e,w,s}^I)_{ass}$ | 2 394.20 |

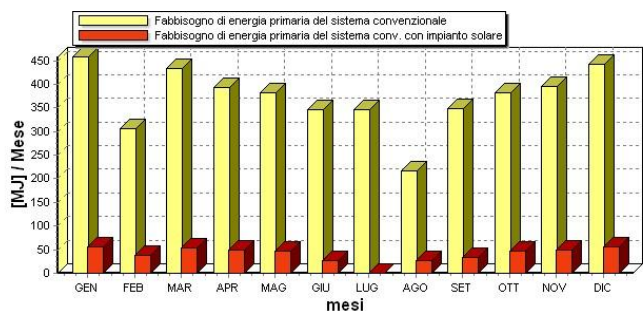


Figura 5. Confronto tra fabbisogni di energia primaria del sistema convenzionale e quello con l'impianto solare.

Unico intervento effettuato all'interno delle abitazioni è stato la sostituzione dei radiatori con i ventilconvettori, operanti sia di inverno che d'estate, e la previsione di un sistema di regolazione climatica per singolo ambiente.

L'intervento più innovativo è stato l'introduzione del "Kit albero solare", valutato, in questo caso, unicamente come sistema di captazione della radiazione solare e sistema di ombreggiamento.

Infatti, per la produzione di acqua calda sanitaria, è stata prevista in copertura l'installazione di pannelli solari che ne azzerano il fabbisogno (Tab.7 e Fig. 5).

Come illustrato precedentemente, questo sistema consente la realizzazioni di superfici aggiunte, favorendo anche l'ombreggiamento estivo, aspetto che, a queste latitudini, deve essere attentamente valutato. Per tale motivo si è deciso di posizionare le "pareti fotovoltaiche" con esposizioni a Sud, Sud Est e Sud Ovest, in corrispondenza delle parti cieche delle rispettive facciate, in modo da sfruttare i pannelli, garantendone la massima efficienza ed evitando l'eccessiva riduzione di luce naturale negli ambienti interni. Laddove persiste la presenza di logge e finestre, sono stati previsti pannelli fotovoltaici con trasparenza pari al 50%.

Con queste soluzioni, si ottiene un decremento dell'indice di energia utile dell'involucro pari al 12.9%, in regime invernale e pari al 37.4% in regime estivo, che rappresenta un dato alquanto significativo nel miglioramento del benessere all'interno dell'edificio. (Fig. 6)

Il rendimento globale di conversione dell'energia utile dell'involucro in energia primaria raggiunge il 166.2% grazie all'introduzione della pompa di calore.

Dai due indici di energia utile dell'involucro riferiti all'inverno e all'estate è stato ricavato il fabbisogno espresso in termini di kilowattora elettrici. A tal proposito si specifica che vanno considerati due valori caratteristici delle pompe di calore: il coefficiente di prestazione e l'indice di efficienza energetica.

Per il caso in questione sono stati considerati valori di COP ed EER rispettivamente pari a 3.66 e 3, ottenendo un totale di 22 356.47 kWh elettrici per il riscaldamento e 21 757.61 kWh elettrici per il raffrescamento, per un totale di 44 114.08 kWh elettrici di fabbisogno per gli impianti.

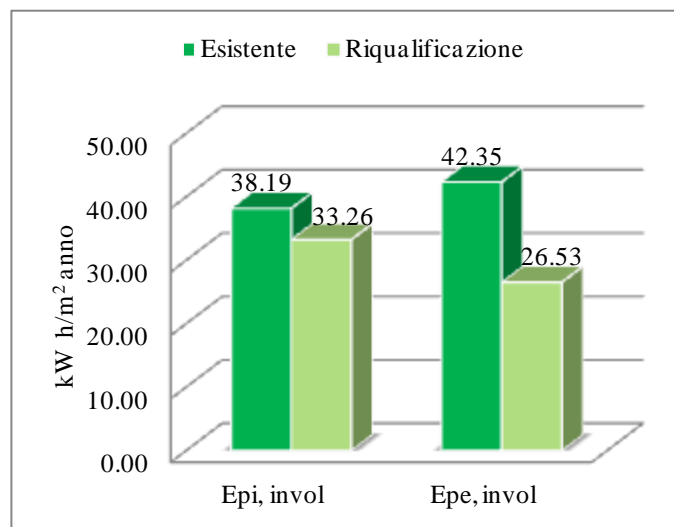


Figura 6. Variazione dell' $E_{p,i,invol}$ e $E_{p,e,invol}$ prima e dopo la riqualificazione.

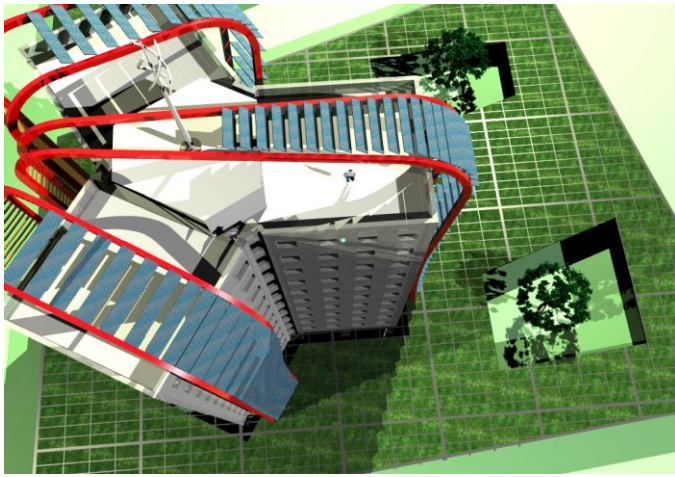


Figura 7. Dettaglio con vista dall'alto del Kit albero solare installato sull'edificio a torre.

Tabella 8. Producibilità media annua dell'impianto fotovoltaico rispetto alle superfici captanti e alle esposizioni.

| Esposizioni | Superficie captante [m ²] | Producibilità media annua [kWh] |
|---------------|---------------------------------------|---------------------------------|
| S | 115.05 | 22 904.75 |
| SW | 278.85 | 48 442.53 |
| SE | 278.85 | 49 473.04 |
| Totale | 672.75 | 120 820.32 |

Con questi semplici interventi l'edificio raggiunge, l'autosufficienza dal punto di vista energetico con una riduzione delle emissioni di CO₂ calcolata secondo la norma UNITS 11300 - parte 4 [18]:

$$CO_2 = E_g * fme * T = 64 155.58 \text{ kg} \quad (6)$$

3.3 L'impianto fotovoltaico, parte integrante del Kit solare

Per ottenere un edificio autosufficiente dal punto di vista energetico, grazie all'utilizzo del Kit albero solare è possibile prevedere l'installazione di una quantità di pannelli fotovoltaici che raramente si potrebbe ottenere con i tradizionali interventi di sovrapposizione o sostituzione di componenti edilizi esistenti (Fig. 7).

Nella riqualificazione e nel recupero degli edifici, infatti, la difficoltà maggiore sta proprio nel reperire le superfici necessarie alla loro installazione e nel prevedere tutto il sistema impiantistico ad essi connesso.

Il progetto di retrofit prevede l'applicazione sul fabbricato di pannelli fotovoltaici in silicio policristallino. Le dimensioni del singolo modulo sono pari a (1.651 × 986 × 46) mm, con una potenza nominale pari a 230 W e un'efficienza pari al 14.13%.

Il sistema fotovoltaico risulta, in questo caso, grid – connected ed ha l'esclusivo compito di convertire l'energia solare in elettrica con le minori perdite possibili, immettendola nella rete a prescindere dai carichi locali.

Per il calcolo dell'energia producibile media annua, che si effettua attraverso l'Eq. (5), è stato utilizzato il software PhotosImpianti [17].

$$E_g = \eta_{bos} * A * \eta_m * G * K_1 * K_2 \quad (5)$$

Grazie al sistema Kit albero solare, la superficie captante è di circa 672 m², distribuita fra le facciate a Sud Est e Sud Ovest della torre e la fascia di prospetto in corrispondenza dell'ascensore esposto a Sud.

Per le zone in corrispondenza delle logge con le finestre è stato previsto che la trasparenza del fotovoltaico sia del 50%.

In base all'esposizione e considerando un'inclinazione di 40° per i pannelli installati sul Kit, è stato possibile ottenere i valori della producibilità media annua (Tab. 8) per un totale di 120 820.32 kWh/anno e circa 4 027 kWh/anno per ogni appartamento.

In tal modo, il fabbisogno di energia dovuto al riscaldamento e al raffrescamento è ampiamente soddisfatto, con un surplus di produzione di energia pari a 76 706.24 kWh/anno.

3.4 Edificio a impatto zero o Energy Plus?

I risultati ottenuti con la valutazione del "Kit albero solare" e di pochi altri interventi dimostrano come, attraverso sistemi innovativi di integrazione architettonica, sia possibile ottenere l'autosufficienza energetica anche per edifici di qualità edilizia e impiantistica scadente senza intervenire in maniera invasiva sull'edificio.

Il passo successivo è stato quello di capire se si possa trasformare l'edificio stesso in un "produttore di energia".

Per fare questo, innanzitutto sono stati stimati i consumi di elettricità dovuti alle apparecchiature domestiche in classe A e all'illuminazione. Considerando i consumi medi annui di una famiglia di quattro persone, si otterrebbe un consumo pari a circa 70 350 kWh per l'intero edificio.

Questo significherebbe che il fotovoltaico da solo produrrebbe ben 6 356.24 kWh oltre il fabbisogno necessario.

Per aumentare ulteriormente l'energia prodotta si potrebbe realizzare un altro modulo del kit solare con una esposizione meno favorevole oppure utilizzare la struttura metallica per installare in copertura una pala eolica ad asse verticale da 6 kW.

Considerando in maniera cautelativa una velocità del vento pari a 7 m/s, si otterrebbero in tal modo 8 220 kWh, sommabili alla produzione da fonte fotovoltaica, ottenendo, in conclusione, 14 576.24 kWh oltre il fabbisogno necessario.

L'edificio potrebbe essere così considerato, a tutti gli effetti, un produttore attivo di energia che, replicato e connesso su scala di quartiere, rappresenterebbe un esempio di generazione distribuita locale di elettricità a vantaggio del bilancio energetico comunale.

3.5 Considerazioni economiche generali relative al progetto del Kit albero solare

Aspetto fondamentale per capire la fattibilità di un intervento di riqualificazione è dato, sicuramente, dall'investimento economico necessario alla sua realizzazione.

Per quanto riguarda il Kit albero solare, i costi delle parti metalliche lavorate, necessarie per la realizzazione di superfici

orizzontali aggiuntive, nonché per eventuali pareti verdi e per le controventature (Fig. 9), possono ritenersi compresi tra 200 e 250 € per ogni metro quadrato di superficie per ogni singolo impalcato nella sua totalità.

I prezzi variano in funzione della forma geometrica del manufatto, diminuendo per forme compatte e chiuse.

L'intervento, quindi, non risulta fuori dalle logiche di mercato, ma, anzi, risulta confrontabile in termini di costi con altre soluzioni di retrofit più tradizionali.

Qualora gli elementi siano anche collaboranti ai fini del miglioramento delle caratteristiche statiche dei manufatti, emerge una grande convenienza ad effettuare tale intervento di retrofit poiché avrebbe la duplice finalità di riqualificazione sia energetica che strutturale.

Inoltre, potrebbe essere superfluo realizzare l'isolamento della copertura e del solaio del primo piano, se a contatto con pilotis o con ambienti non riscaldati, o, ancora, la sostituzione degli infissi, con conseguente enorme risparmio dal punto di vista economico.

Gli impianti fotovoltaici e solari, invece, sono costituiti da componenti e materiali ormai di comune utilizzo, il cui costo, ampiamente sperimentato sul mercato locale, è compreso tra 1200 e 1500 €/kW_p.

L'aspetto forse più interessante della proposta progettuale consiste nel fatto che non si utilizzano più le poche superfici disponibili presenti su un edificio esistente, per le quali dovrebbero essere valutate l'esposizione, la tipologia di integrazione e, aspetto non trascurabile, la fattibilità dal punto di vista strutturale, laddove i componenti attivi per la produzione di energia hanno un peso che potrebbe essere incompatibile con i carichi previsti per i solai di copertura e con le attuali norme sismiche.

Il Kit ideato crea, invece, nuove superfici ad hoc che hanno solamente puntuali e volute interferenze con l'edificio e che sono pensate per massimizzare la captazione di energia e i benefici ambientali delle altre soluzioni proposte (verde, raccolta acqua, ombra etc.).

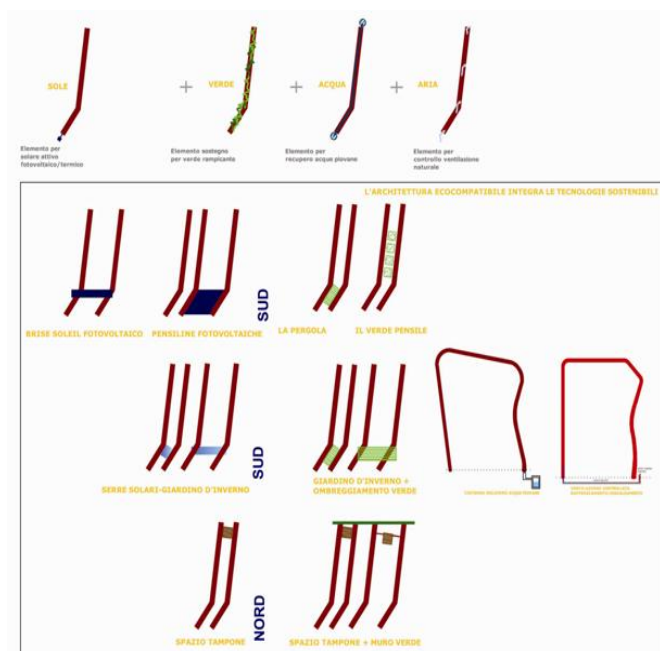


Figura 9. Alcune possibili configurazioni del sistema modulare proposto.

Considerando l'attuale politica energetica nazionale e regionale che ha ridotto notevolmente la possibilità di realizzare impianti da fonte rinnovabile su terreno, la ricerca di superfici "libere e disponibili" sulle quali investire sta assumendo un interesse immobiliare non trascurabile.

Il sistema interposto è strategico se si pensa che, in Puglia, si potrebbe in questo modo aumentare la superficie da destinare all'installazione di impianti da fonti rinnovabili attraverso interventi di recupero.

Il vantaggio economico della disponibilità di superficie captante arriverebbe, in alcuni casi, a superare il valore commerciale dell'appartamento o dell'immobile stesso.

Ciò rende applicabile tale intervento su larga scala anche da parte di enti come l'Istituto Autonomo Case Popolari, il quale, adottando tale sistema sui propri edifici, potrebbe, da un lato, conseguire una finalità sociale, migliorando la qualità del sistema costruito e riducendo la bolletta energetica dei propri inquilini, e dall'altro, contribuire al rispetto degli obiettivi di Kyoto.

Oltre agli incentivi proposti dalla normativa vigente (Conto energia, conto termico, detrazioni fiscali etc.), unitamente a questi vantaggi, gli enti locali potrebbero attivare direttamente un meccanismo finanziario che consenta di autofinanziarsi l'intervento di ristrutturazione o di "affittare" la superficie ad investitori esterni e, in tal modo, avere a disposizione la liquidità necessaria per gli interventi manutentivi attraverso i quali, ad esempio, aumentare l'isolamento termico dei propri edifici, innescando un meccanismo virtuoso su scala urbana.

4 CONCLUSIONI

La finalità di questo lavoro è stata quella di presentare un intervento innovativo di riqualificazione energetica di un edificio, dimostrandone la sua validità attraverso un esempio applicativo su di un fabbricato di edilizia residenziale pubblica nella periferia di Bari.

Il sistema proposto di captazione solare integrato (Kit albero solare), ispirandosi al concetto della pergola, coniuga valenze architettoniche e tecnologiche di eco-compatibilità e, attraverso un "make up" architettonico, trasforma l'edificio, da mero sistema passivo, con consumi energetici non compatibili con l'attuale normativa, in un edificio ad energia positiva, contribuendo alla riduzione dei consumi nel settore civile e alla riduzione delle emissioni di CO₂ in atmosfera.

Il progetto, rispondendo pienamente agli obiettivi e agli indirizzi strategici della normativa internazionale, nazionale e regionale, risulta centrale nella definizione di repertori di soluzioni innovative di intervento alle differenti scale, finalizzate all'incremento dell'efficienza energetica nei contesti insediativi di margine.

L'intervento di retrofit, inoltre, assume la funzione di migliorare la qualità estetica dei fabbricati e la qualità di vita degli abitanti.

Caratteristica fondamentale consiste nel fatto che il kit di installazione risponde ad uno dei problemi principali dell'inserimento di sistemi di captazione negli edifici esistenti: la necessità di superfici disponibili per raccogliere la radiazione solare e di realizzare i lavori di riqualificazione senza liberare l'edificio dagli inquilini presenti.

È, infine, indipendente dall'esposizione e dotato di flessibilità e replicabilità che lo rendono competitivo in termini di costi rispetto alle soluzioni più tradizionali.

5 NOMENCLATURA

| | | |
|-----------------------------|--|-----------------|
| A | Superficie occupata dal sistema di captazione fotovoltaico | m^2 |
| COP | Coefficiente di prestazione | - |
| CO_2 | Emissioni di CO_2 evitate nel tempo di durata dell'impianto FV | kg |
| E_g | Energia elettrica producibile in un anno dall'impianto fotovoltaico | kWh/anno |
| EER | Indice di efficienza energetica | - |
| $EP_{e,inv}$ | Indice di prestazione energetica relativo all'involucro per la climatizzazione estiva | kWh/ m^2 anno |
| $EP_{i,inv}$ | Indice di prestazione energetica relativo all'involucro per la climatizzazione invernale | kWh/ m^2 anno |
| EP_i | Indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale | kWh/ m^2 anno |
| fme | Fattore di mix elettrico italiano per CO_2 pari a 0.531 kg CO_2 /kWh | kg CO_2 /kWh |
| G | Radiazione globale solare media incidente sul piano dei moduli | kWh/ m^2 |
| K_1 | Coeff. comprendente quello di riduzione per eventuali ombreggiamenti | - |
| K_2 | Fattore di trasposizione per esposizioni diverse da quella ideale | - |
| P_n | Potenza nominale | kW |
| $Q_{C,nd}$ | Fabbisogno di energia netta stagionale per il raffrescamento | kWh |
| $(Q'_{e,w,S})_{fc}$ | Consumo annuo di energia elettrica, in assenza di impianto solare | kWh/anno |
| $(Q'_{e,w,S})_{fc+is}$ | Consumo annuo di energia elettrica, in presenza di impianto solare | kWh/anno |
| $(\Delta Q'_{e,w,S})_{ass}$ | Risparmio annuo di energia elettrica assoluto | kWh/anno |
| $Q_{H,nd}$ | Fabbisogno ideale netto di energia per il riscaldamento | kWh |
| $Q_{l,t}$ | Totale delle dispersioni termiche del sistema di riscaldamento | kWh |
| $Q_{p,H}$ | Fabbisogno stagionale di energia primaria per il riscaldamento | kWh |
| Q_r | Calore recuperato dai sistemi di riscaldamento dai sistemi ausiliari e dall'ambiente | kWh |

| | | |
|--------------|--|------------|
| S_u | Superficie utile | m^2 |
| T | Stima degli anni di durata dell'impianto fotovoltaico | anni |
| U | Trasmittanza termica | W/ m^2 K |
| U_g | Trasmittanza termica elemento trasparente della finestra | W/ m^2 K |
| U_w | Trasmittanza termica della finestra | W/ m^2 K |
| η_{bos} | Rendimento Balance of System | % |
| $\eta_{H,g}$ | Rendimento globale medio stagionale | % |
| η_m | Efficienza di conversione del modulo fotovoltaico | % |

6 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

1. Direttiva 2012/27/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 25 ottobre 2012 sull'efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE.
2. Decreto Legislativo del 29 dicembre 2006, n.311, Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia. (GU n. 26 del 1-2-2007- Suppl. Ordinario n.26)
3. N. Martinelli (a cura di), Per un atlante della città pubblica di Bari, p. 37, Adda Editore, Bari, 2009.
4. S. Di Turi, La riqualificazione energetica dell'edilizia residenziale pubblica per il P.A.E.S. del Comune di Bari, tesi di laurea, Cap. V e VI, Politecnico di Bari, Bari, 2012.
5. L. de Santoli e F. Mancini e M. Cecconi, Riqualificazione dell'edilizia residenziale di una città. Il caso Roma, *Aicarr Journal*, Monografia periodica sul benessere sostenibile, n. 1, pp. 18-22, Aprile 2010.
6. Software Mc4Suite 2012, Mc4 Software.
7. Norma UNI TS 11300 – Parte 1:2008. Prestazioni energetiche degli edifici. Determinazione del fabbisogno di energia termica per la climatizzazione estiva e invernale, maggio 2008 + EC1/2010.
8. Norma UNI TS 11300 – Parte 2:2008. Prestazioni energetiche degli edifici. Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria + EC1/2010.
9. Norma UNI TS 11300 – Parte 3:2010. Prestazioni energetiche degli edifici. Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva.
10. Norma UNI 10349:1994. Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati climatici.
11. Norma UNI EN ISO 14683:2008. Ponti termici in edilizia – Coefficiente di trasmissione lineica – Metodi semplificati e valori di riferimento.
12. V. Lattanzi, Certificazione energetica edifici. Progettazione e guida all'applicazione della legislazione e della normativa tecnica, Litograf s.r.l., Todi, 2010.
13. D.P.R. n. 59 del 2 Aprile 2009: Metodologie di calcolo e criteri generali e requisiti delle prestazioni energetiche

- degli edifici e degli impianti.
14. Ecofine Nanotechnologies, Catalogo Prodotti vers. 1.7 aggiornato a febbraio 2013, versione elettronica.
 15. N. Cardinale e F. Ruggiero, Energetic aspects of bioclimatic buildings in the Mediterranean area: a comparison between two different computation methods, *Energy and Building* vol. 31/1, pp. 55-63, Elsevier Science, 2000
 16. N. Cardinale e D. Francese e F. Ruggiero, Bioclimatic technologies in Mediterranean countries, *Towards Sustainable Building*, pp. 59-76, Kluwer Academic Publishers, 2001.
 17. G. Carmassi, Fotovoltaico. Progettazione e valutazione economica in conto energia, Grafill S.r.l., Palermo, 2012.
 18. Norma UNI TS 11300 – Parte 4:2012. Prestazioni energetiche degli edifici. Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per riscaldamento di ambienti e preparazione di acqua calda sanitaria.

SUMMARY

The theme of the refurbishment of the existing residential buildings allows to deal with some of the many aspects of the environmental sustainability concept (the reduction of the non-renewable resources and of the CO₂ emissions into the atmosphere) in the industrialized countries, where the development of a profit-oriented economy has turned the built heritage in a global energy problem, making impossible a

harmonious coexistence between man and nature. The vulgarization of the construction patterns indifferent to the places has caused the urban landscape degradation and the living conditions deterioration.

The obvious obsolescence of the buildings made after the war, guilty of high energy consumption, has led us to design the recovery of a tower building located in the San Paolo suburb (Bari). The innovative proposal turns it from a passive element to an active one for the production of electricity and heat through an architectural up-grade crucial for the improvement of aesthetic, functional and spatial performances. The retrofit involves the installation of a Tree-Solar Kit that, wrapping the existing buildings as a real "solar skin", introduces ad hoc surfaces designed to maximize the uptake of the solar radiation and the environmental benefits of the proposed solutions (green wall, stormwater collection systems, shading systems etc.). Made up of an integrated series of active solar, passive and ventilation systems, it is independent of exposure and it has flexibility and replicability that make it competitive in terms of costs compared to the more traditional solutions. Its components are standardized, easy to assemble thanks to their small size and collaborating for the improvement of the structural characteristics of the fabrics.

Thanks to the integration of eco-friendly technologies and materials and advanced calculation tools, the research, aimed at increasing energy efficiency of the marginal settlement contexts, allows the full respect of national and regional rules.